

PCT
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
 Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01L 1/16, G01M 13/02	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/26046 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 27. Mai 1999 (27.05.99)
--	-----------	--

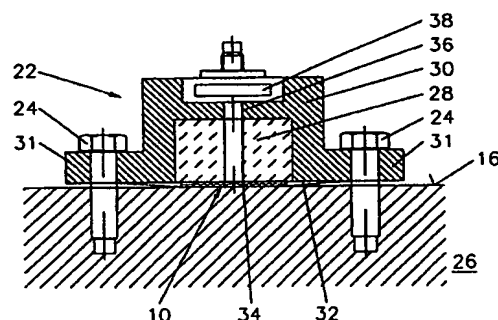
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH98/00496 (22) Internationales Anmeldedatum: 18. November 1998 (18.11.98) (30) Prioritätsdaten: 2659/97 18. November 1997 (18.11.97) CH (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SCHLÄPFER MESSTECHNIK AG [CH/CH]; Oberschneit, CH-8523 Hagenbuch (CH). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHLÄPFER, Bruno [CH/CH]; Oberschneit, CH-8523 Hagenbuch (CH). MÄCHLER, Dario [CH/CH]; Garten, CH-8487 Zell (CH). TANNER, Matthias [CH/CH]; Unterdorf 23, CH-8261 Hemishofen (CH). (74) Anwalt: PATENTANWÄLTE BREITER + WIEDMER AG; Seuzachstrasse 2, Postfach 366, CH-8413 Neftenbach (CH).	(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
---	---

(54) Title: PIEZO-ELECTRIC STRETCHING DETECTOR AND METHOD FOR MEASURING STRETCHING PHENOMENA USING SUCH A DETECTOR

(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHER DEHNUNGSSENSOR UND VERFAHREN ZUR MESSUNG VON DEHNUNGEN AUF OBERFLÄCHEN MIT EINEM SOLCHEN SENSOR

(57) Abstract

The present invention relates to a piezo-electric stretching detector (10) which is used for measuring the positive and negative stretching on the surfaces (16) of rigid structures (26) using electric signals, wherein said detector can be attached by a force connection onto said surfaces (16) in a compressible or non-removable relation. This stretching detector (10) has a high sensitivity in all stretching directions and is made of a piezo-ceramic material which is applied in a thin layer on at least one surface of a flexible metal sheet or which is fixedly attached to said metal sheet in the shape of a moulded body. At least one of said stretching detectors (10) can be arranged on the free abutting end of at least one resilient pressure body (28) which is imbedded in the reception housing (30) of a stretching sensor (22). The stretching sensor (22) further comprises members (24) for pressing the reception housing (30) onto the surface (16) to be measured. According to one method for measuring the positive and negative stretching on the surfaces (16) of rigid structures (26) using a stretching detector (10) or sensor (22), the piezo-electrically emitted charges are amplified in charge amplifiers (52) so as to obtain output signals which can be used by the controllers and have a voltage proportional thereto. The charge amplifier can also be switched rapidly from reduced charge ranges to very wide charge ranges.



(57) Zusammenfassung

Ein piezoelektrischer Dehnungssensor (10) zum Messen positiver und negativer Dehnungen auf Oberflächen (16) von steifen Strukturen (26) mittels elektrischer Signale ist kraftschlüssig auf diese Oberflächen (26) pressbar oder unlösbar auf ihnen befestigbar. Der in allen Dehnungsrichtungen hochempfindliche Dehnungssensor (10) besteht aus piezokeramischem Material, welches als dünne Schicht wenigstens einseitig auf ein biegbares Metallblech aufgebracht oder als Formkörper unlösbar auf diesem befestigt ist. Wenigstens einer dieser Dehnungssensoren (10) kann auf der freien Stirnseite von wenigstens einem überstehend in einem für sich stabilen Aufnehmergehäuse (30) eines Dehnungsaufnehmers (22) eingelassenen, elastischen Druckkörper (28) angeordnet sein. Der Dehnungsaufnehmer (22) umfasst auch Mittel (24) zum Anpressen des Aufnehmergehäuses (30) an die zu messende Oberfläche (16). In einem Verfahren zum elektrischen Messen von positiven und negativen Dehnungen auf Oberflächen (16) von steifen Strukturen (26), mit einem Dehnungssensor (10) oder mit einem Dehnungsaufnehmer (22), werden die piezokeramisch abgegebenen Ladungen in Ladungsverstärkern (52) zu von Steuerungen verwendbaren Ausgangssignalen, welche eine dazu proportionale Spannung haben, verstärkt. Der Ladungsverstärker kann sehr schnell von kleinen auf sehr grosse Ladungsbereiche umschalten.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshjan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland		
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LJ	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

PIEZOELEKTRISCHER DEHNUNGSSENSOR UND VERFAHREN ZUR MESSUNG VON DEHNUNGEN AUF OBERFLÄCHEN MIT EINEM SOLCHEN SENSOR

5 Die vorliegende Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Dehnungssensor zum Messen positiver und negativer Dehnungen auf Oberflächen von steifen Strukturen mittels elektrischer Signale, welcher Dehnungssensor kraftschlüssig auf diese Oberflächen pressbar oder unlösbar auf ihnen befestigbar ist. Weiter betrifft die Erfindung einen Dehnungsaufnehmer mit wenigstens einem Dehnungssensor und ein Verfahren zum elektrischen Messen mit einem Dehnungssensor oder Dehnungsaufnehmer.

15 Es ist seit langem bekannt, dass bei Einwirkung einer Kraft auf einen piezoelektrischen Körper durch die dielektrische Verschiebung Oberflächenladungen entstehen, welche mit Elektroden abgegriffen werden. Es ist weiter bekannt, im Pressen- und Werkzeugbau, aber auch an anderen steifen Strukturen, piezoelektrische Dehnungssensoren als Oberflächen- Dehnungssensoren zu verwenden. An diesen steifen Strukturen, wie auch an robusten Werkzeugmaschinen, sind Dehnungssensoren mit hohem Auflösungsvermögen gefordert. Bei 20 der Überwachung von zwischen zwei Werkzeughälften eingeklemmten Teilen, welche nicht entformt wurden, sind ebenfalls Dehnungssensoren mit hoher Empfindlichkeit erforderlich, da beispielsweise auf einer 1000 kN-Presse bis zu 50 N detektiert werden müssen. In dieser Grössenordnung muss ein Microstrain ($\mu\epsilon$) ein 10 Volt-Signal (V) abgeben können. Dazu sind weder heute 25 bekannte Dehnungssensoren noch entsprechende Verfahren in der Lage.

Dagegen sind Dehnungsaufnehmer bekannt, welche mittels zweier Schrauben auf die zu messende Oberfläche gepresst werden, damit die zwischen den beiden Schrauben auftretenden Dehnungen in axialer Richtung gemessen werden können. Mittels mechanischer Verstärkung kann die Oberflächendehnung vergrössert werden, beispielsweise bis zu einem Faktor 10. Solche Aufnehmer 30

haben, wie angedeutet, den Nachteil, dass nur Dehnungen in axialer Richtung zwischen den beiden Schrauben erfasst werden können, und dass die Empfindlichkeit die geforderte Auflösung nicht erreicht.

5 Es sind auch piezoelektrisch wirkende Sensoren bekannt, welche mit nur einer Schraube auf die zu messende Oberfläche gepresst werden. Dabei werden zwei integrierte Piezoquarzscheiben durch Schubkräfte belastet, die erzeugten elektrischen Ladungen können abgegriffen werden. Diese Dehnungssensoren erzeugen jedoch eine zu kleine Auflösung. So werden in der CH,A5 687647
10 Aufnehmer mit dehnungsempfindlichen Elementen, also Dehnungssensoren, beschrieben, welche unter anderem Piezofolien sein können. Auch nach dieser schweizerischen Patentschrift gelingt es wegen der Wahl der Messelemente nicht, mit der für spezielle Anwendungen, beispielsweise im Pressen-, Werkzeug- und Werkzeugmaschinenbau, erforderlichen hohen Auflösung messen
15 zu können.

Weiter müssen alle vorstehend erwähnten Sensoren richtungsabhängig eingebaut werden, mit andern Worten muss für den Erhalt von optimalen Messresultaten immer die Hauptdehnungsrichtung gesucht werden. Dies ist jedoch in
20 den meisten Fällen mit einem grossen zusätzlichen Aufwand verbunden.

Der vorliegenden Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, mit einem piezoelektrischen Dehnungssensor der eingangs genannten Art richtungsunabhängige Dehnungsmessungen mit hoher Auflösung zu schaffen. Der Dehnungssensor soll in einem optimal adaptierten Dehnungsaufnehmer unter Anwendung eines optimalen Verfahrens eingesetzt werden können.
25

Bezüglich des Dehnungssensors wird die Aufgabe erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass ein in allen Dehnungsrichtungen hochempfindlicher Dehnungssensor aus piezokeramischem Material besteht, welches als dünne Schicht
30 wenigstens einseitig auf ein biegbares Metallblech aufgebracht oder als Form-

körper unlösbar auf diesem befestigt ist. Spezielle und weiterbildende Ausführungsformen des Dehnungssensors ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

- 5 Bei der erfindungsgemässen Dehnungsmessung erfolgt nicht wie üblich eine direkte Krafteinwirkung auf das piezokeramische Material. Im Metall-Metall-Keramik-Verbund werden tangentielle Kräfte in Folge positiver oder negativer Dehnungen von der zu messenden Oberfläche auf das Metallblech und von dort auf den Dehnungssensor übertragen, sie bewirken dort Oberflächenladungen, welche abgreifbar sind. Dank dem Ersatz der bisher üblichen piezoelektrischen Materialien durch Piezokeramik werden auch bei kleinsten Dehnungen so grosse elektrische Ladungen erzeugt, dass sie direkt oder zweckmässig mit Ladungsverstärkern auswertbar sind.
- 10
- 15 Piezokeramische Materialien sind an sich bekannt, es handelt sich meist um oxidische Werkstoffe, beispielsweise auf der Basis von Bleioxid, Zirkonoxid und Titanoxid. Durch Zugabe von weiteren Metalloxiden, beispielsweise Oxiden der Elemente Lithium, Magnesium, Zink, Nickel, Mangan, Niob, Antimon und/oder Strontium können die Materialparameter fein abgestimmt und stabilisiert werden. Weiter können die physikalischen Eigenschaften der piezokeramischen Materialien durch Variation der Mischungsverhältnisse der Grundstoffe, die Mahldauer der Komponenten, die Sinterungsbedingungen und die Formgebung beeinflusst werden.
- 20
- 25 Das an sich als Piezokeramik bekannte Blei-Zirkonat-Titanat wird erfindungsgemäss bevorzugt eingesetzt. Die Kristallstruktur von Blei-Zirkonat-Titanat leitet sich vom Perowskit ab, einem Mineral der chemischen Formel CaTiO_3 .
- 30 Der Träger für das piezokeramische Material besteht vorzugsweise aus einer Metallscheibe, welche aus einem Stahl- oder Messingblech einer Dicke von zweckmässig 0,05 bis 0,25 mm ausgestanzt ist und einen Durchmesser im

Bereich von 10 bis 60 mm hat. Coaxial, bevorzugt mit einem Durchmesser von 5 bis 30 mm und einer Dicke von zweckmässig 0.05 bis 0,25 mm, wird das piezokeramische Material unlösbar befestigt. Dies kann einerseits durch Verkleben oder Auflöten einer vorgeformten Keramikscheibe oder andererseits durch chemisches Abscheiden aus der Gasphase, was als CVD (chemical vapor deposition) bezeichnet wird, elektrochemische Abscheidung oder Aufdampfen auf dem Metallblech erfolgen. Die Haftfestigkeit der Piezokeramik auf der Metallscheibe muss, wie immer sie auch angebracht ist, hohe Anforderungen erfüllen. So darf ein Biegen um einen Rundstab von 10 mm Durchmesser keine Trennung zwischen Piezokeramik und Metallscheibe erfolgen.

Nach einer besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung sind die Dehnungssensoren als piezokeramische Schallgebermembranen ausgebildet. Diese haben eine mechanische Grundresonanz, welche durch die Geometrie festgelegt ist. Neben der Grundresonanz treten harmonische Oberschwingungen und Resonanzen in Längs- und Querrichtung auf, bei Scheiben insbesondere auch in Radialrichtung, falls der Durchmesser wesentlich grösser als die Dicke ist.

Mit einem erfindungsgemässen Dehnungssensor können beispielsweise folgende technische Daten erreicht werden:

Messbereich max./min.	$\mu\epsilon$	500
Überlastungsbereich	$\mu\epsilon$	1000
Empfindlichkeit Piezokeramik-Sensor	pC/ $\mu\epsilon$	≈ 700 (richtungsunabhängig)
Temperaturbereich Piezokeramik-Sensor ($\varnothing 10$ mm)	$^{\circ}\text{C}$	50 (Dauertemperatur: 35)
Linearität & Hysterese	%FS	1 – 2

Der erfindungsgemässe piezokeramische Dehnungssensor kann unter ande-

rem für Überwachungsaufgaben an sehr steifen, schnelllaufenden Pressen zum Erfassen von Prozessfehlern, beispielsweise in Formen eingeklemmte Teile, eingesetzt werden. Weiter kann der Dehnungssensor in Spritzgiess- und Metalldruckgusswerkzeugen zum Formschutz eingesetzt werden, indem er an
5 einer optimalen Stelle der Maschinenstruktur aufgepresst oder befestigt wird, beispielsweise an einem Kniehebel. Abweichungen von der Idealschliesskurve können erfindungsgemäss mit hoher Auflösung gemessen werden. So können 5 kg an einer 100 t-Presse erfasst werden. Trotzdem kann mit demselben Dehnungssensor auch eine 500-fach höhere Dehnung erfasst werden.

10

Der piezokeramische Dehnungssensor kann mit jedem geeigneten elastischen Anpresskörper auf eine zu messende Oberfläche gedrückt werden, bis ein Kraft- bzw. Reibschluss zwischen dem Metallblech und der Oberfläche erfolgt. Weiter kann das Metallblech mit der Oberfläche verklebt, verlötet oder auf eine
15 andere geeignete Weise unlösbar mit der zu messenden Oberfläche verbunden werden. In allen Fällen werden positive und negative Dehnungen von der Oberfläche auf das Metallblech des Dehnungssensors und von diesem auf das piezokeramische Material übertragen. Dieses piezoelektrische Messprinzip erlaubt Auflösungen im Nanometerbereich.

20

Ein besonders vorteilhafter Dehnungsaufnehmer mit wenigstens einem piezokeramischen Dehnungssensor zeichnet sich dadurch aus, dass die Dehnungssensoren auf der freien Stirnseite von wenigstens einem überstehend in einem für sich stabilen Aufnehmergehäuse eingelassenen, elastischen Druckkörper
25 angeordnet sind, und Mittel zum Anpressen des Aufnehmergehäuses an die zu messende Oberfläche umfasst.

30

Dieses Aufnehmergehäuse ist vorzugsweise von einem Schraubenloch durchgriffen oder weist wenigstens zwei regelmässig über den Umfang verteilte, mit der Öffnung flächenbündige Flansche mit mindestens je einem Schraubenloch oder -schlitz auf. Das in sich stabile Aufnehmergehäuse erlaubt so ein starkes

Andrücken des Dehnungssensors auf die zu messende Oberfläche über den elastischen Druckkörper.

5 Zweckmässig sind die Dehnungssensoren auf dem überstehenden Druckkörper des Dehnungsaufnehmers mit einer metallischen oder metallisierten Folie abgedeckt und so gegen schädliche chemische und/oder mechanische Einwirkungen geschützt. Diese Folie kann vor der Montage des Dehnungsaufnehmers entfernt werden, vorzugsweise wird der Dehnungsaufnehmer mit aufgelegter Schutzfolie befestigt.

10 In bezug auf das Verfahren zum elektrischen Messen mit einem Dehnungssensor oder einem Dehnungsaufnehmer wird die Aufgabe erfindungsgemäss dadurch gelöst, dass die piezokeramisch abgegebenen Ladungen in Ladungsverstärkern zu von Steuerungen verwendbaren Ausgangssignalen verstärkt werden, welche eine dazu proportionale Spannung haben, wobei der Ladungsverstärker sehr schnell von kleinen auf sehr grosse Ladungsbereiche umschaltet, sofern dies erforderlich ist.

20 Die hohe Empfindlichkeit der erfindungsgemässen Dehnungssensoren, bzw. Dehnungsaufnehmer, verbunden mit einer hohen Messspanne bis zu 500 Microstain verlangen geradezu nach einem an sich bekannten Ladungsverstärker mit einer schnellen Bereichsumschaltung im Mikrosekundenbereich von einem extrem kleinen Messbereich auf einen grossen Messbereich. Damit kann beispielsweise mit ein- und demselben Dehnungssensor sowohl ein hochempfindlicher Formschutz als auch eine Gesamtkraftmessung verwirklicht werden.

25 Ladungsverstärker formen die vom Dehnungssensor abgegebene Ladung in eine dazu proportionale Spannung um. Dies geschieht üblicherweise dadurch, dass die vom Dehnungssensor abgegebene Ladung am invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers einen umgekehrt proportionalen Strom in
30 einem Rückkopplungsweig bewirkt. Lässt man diesen Strom im Rückkopp-

lungszweig durch einen Kondensator fliessen, so entsteht am Ausgang des Operationsverstärkers eine dem Sensorsignal proportionale Spannung. Da die Isolationswiderstände nicht unendlich hoch und die Fehlerströme des Operationsverstärkers nicht Null sind, entsteht mit der Zeit am Ausgang des Operationsverstärkers eine als Nullpunktfehler wahrnehmbare Spannung, die sogenannte Drift. Es ist also nötig, von Zeit zu Zeit die Ausgangsspannung rückzusetzen, bzw. den Kondensator im Rückkopplungszweig vollständig zu entladen.

Die Ausgangsspannung ist einerseits dem Sensorsignal proportional, andererseits aber auch von der Kapazität des Kondensators im Rückkopplungszweig abhängig. Diese Kondensatorkapazität legt fest, wieviel Ladung benötigt wird, um einen bestimmten Spannungswert zu erreichen. Man spricht somit vom Bereichskondensator.

Will man einen Ladungsverstärker mit zwei oder mehreren Messbereichen realisieren, so wird die Ausgangsspannung um den gewünschten Faktor verstärkt. Man erhält so auf einfache Art und Weise einen empfindlicheren Messbereich.

Es ist einleuchtend, dass die Kapazität des Bereichskondensators dem grössten benötigten Messbereich angepasst werden muss, da sich durch Verstärkung nur kleinere Messbereiche realisieren lassen. Solange der Verstärkungsfaktor nicht allzu hoch gewählt wurde, (typische Werte sind Faktoren von 2 bis 10), so fällt die Drift, die ja auch um den jeweiligen Faktor mitverstärkt wird, nicht ins Gewicht. Will man hingegen Ladungsverstärker mit weit auseinanderliegenden Bereichen realisieren, so ist diese Lösung nicht mehr erfolgversprechend.

Bei grossen Bereichsunterschieden muss eine Schaltungsvariante mit einem umschaltbaren Bereichskondensator gewählt werden. Dabei können die Bereiche in beliebigem Verhältnis zueinander stehen, die Grenzen werden lediglich durch die Abstufung der Kapazität seitens der Hersteller gesetzt.

Nach einer speziellen Ausführungsform des Verfahrens wird zur Beseitigung von mechanischen Störungen bei hochauflösenden Messungen einleitend eine Idealkurve aufgezeichnet und abgespeichert. Jeder weitere Zyklus wird überwacht und in Echtzeit mit der Idealkurve verglichen. Beim Auftreten einer Störung in Echtzeit wird die Idealkurve von der Störungskurve abgezogen, die Differenz unmittelbar mit einer Alarmschwelle verglichen und die Störung als Alarmschwellwert detektiert.

10 Im Gegensatz zu bisher bekannten Verfahren zur Dehnungsmessung können richtungsunabhängig alle auf der Oberfläche auftretenden Dehnungen detektiert werden. Das aufwendige und einschränkende Festlegen einer Hauptrichtung kann entfallen.

15 Die Messungen an der Oberfläche können nicht nur mit einem unter Bildung eines Kraftschlusses aufgedruckte Dehnungssensoren durchgeführt werden. Das Metallblech des erfindungsgemässen Dehnungssensors kann auch auf die zu messende Oberfläche geklebt oder gelötet werden. Dies muss in einer so guten Qualität erfolgen, dass auch kleinste Dehnungen im Nanometerbereich auf das piezokeramische Material übertragen werden.

20 Die Erfindung wird anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen, welche auch Gegenstand von abhängigen Patentansprüchen sind, näher erläutert. Es zeigen schematisch:

25

- Fig. 1 eine Draufsicht auf einen Dehnungssensor,
- Fig. 2 einen Axialschnitt durch einen aufgetragenen Dehnungssensor,
- Fig. 3 einen Axialschnitt durch einen Dehnungsaufnehmer mit einem Dehnungssensor im Einbaustand,
- 30 - Fig. 4 eine aufgeschnittene Ansicht einer Bauvariante eines Dehnungsaufnehmers,

- Fig. 5 ein Sensorsignal in einem vollen Zyklus,
- Fig. 6 ein Sensorsignal mit einer Störung,
- Fig. 7 einen Alarmschwellwert, und
- Fig. 8 einen Ladungsverstärker.

5

Fig. 1 zeigt ein dehnungsempfindliches Element, einen Dehnungssensor 10. Dieser besteht aus einer Metallscheibe 12, im vorliegenden Fall einer Stahlscheibe mit einem Durchmesser D_1 von 15 mm und einem coaxialen scheibenförmigen Formkörper aus piezokeramischem Material 14, im vorliegenden Fall mit einem Durchmesser D_2 von 10 mm.

10

In Fig. 2 ist ein Axialschnitt eines Dehnungssensors 10 gezeigt, welcher auf einer zu messenden Oberfläche 16 aufgelötet ist. Die Dicke d_1 der Stahlscheibe 12 liegt bei 0,15 mm, diejenige des aufgeklebten scheibenförmigen piezokeramischen Materials 14 bei 0,10 mm. Die beiden Scheiben sind mit einem elektrisch leitenden Kleber miteinander verbunden. Eine auf das piezokeramische Material 14 drückende Feder 18 wirkt als elektrischer Kontakt und Leiter für die elektrischen Ladungen. Die Masse wird über eine weitere Feder 20, welche auf die Stahlscheibe 12 drückt, oder nach nicht dargestellten Ausführungsformen direkt über die Oberfläche 16 kontaktiert.

15

20

Beim Einsatz eines hier beschriebenen hochempfindlichen Dehnungssensors 10 mit Blei-Zirkonat-Titanat als piezokeramischem Material 14 ergibt 1 Microstrain ($\mu\epsilon$) eine Ladung von etwa 700 pC, was mit geeigneten Ladungsverstärkern (Fig.8) in ein Ausgangssignal von etwa 10 Volt gewandelt werden kann.

25

Ein in Fig. 3 dargestellter Dehnungsaufnehmer 22 mit einem Dehnungssensor 10 wird mittels Schrauben 24 auf die zu messende Oberfläche 16 einer sehr steifen Struktur 26, z.B. einer schnell laufenden Presse 26, geschraubt. Dabei wird ein elastischer Druckkörper 28 so stark auf die Oberfläche 16 gepresst,

30

dass die auf diesem Druckkörper 28 stirnseitig aufgebrachten Dehnungssensoren 10 kraftschlüssig mit dieser Oberfläche 16 verbunden sind, d.h. einen Reibschluss bilden. Dadurch wird jede auf der Oberfläche 16 auftretende Dehnung 1:1 auf den Dehnungssensor 10 übertragen, welcher seinerseits ein dehnungsproportionales Signal abgibt. Der elastische Druckkörper 28 ist in beliebiger Form und Dicke, einteilig oder mehrteilig, so ausgebildet, dass wenigstens ein Dehnungssensor 10 stirnseitig darauf Platz findet.

Ein Aufnehmergehäuse 30 mit Flanschen 31 und Aussparungen für den/die elastischen Druckkörper 28 ist in sich stabil und robust ausgebildet. In bezug auf Tiefe und Form ist das Aufnehmergehäuse 30 so gestaltet, dass der eingebaute elastische Druckkörper 28 etwas vorsteht und somit durch das Festschrauben einen starken Druck auf den Dehnungssensor 10 ausübt. Die Dehnungssensoren 10 sind mittels einer metallischen oder metallisierten Folie 32 vor externen Einflüssen geschützt.

Die Signale des Dehnungssensors 10 werden über Kabel oder Federn 18, 20 (Fig. 2) durch axiale Bohrungen 34, 36 im elastischen Druckkörper 28 und im Aufnehmergehäuse 30 geführt. Eine Feder anstelle eines Kabels verhindert eine unerwünschte mechanische Verstärkung des piezokeramischen Materials 14 (Fig. 1, 2), vorliegend als Schallgeber-Membrane aus Blei-Zirkonat-Titanat ausgebildet, des Dehnungssensors 10. Im Aufnehmergehäuse 30 ist eine geeignete Auswerteelektronik 38 untergebracht, welche die elektrischen Signale des Dehnungssensors verarbeitet.

Ein in Fig. 4 dargestellter Dehnungsaufnehmer 22 ist mit einer Schraubenzwinge 40 auf die messende Oberfläche 16 gepresst. Auch hier wird bei starkem Anpressen eine kraftschlüssige Verbindung des Dehnungssensors 10 mit der Oberfläche 16 erreicht. Im übrigen entspricht Fig. 4 weitgehend Fig. 3.

30

Die ausserordentlich hohen Signalpegel, $1 \text{ Microstrain } (\mu\epsilon) \cong 700 \text{ pC} \cong 10 \text{ Volt}$

mit Ladungsverstärkern, sind schwierig zu beherrschen, da beispielsweise Beschleunigungsanteile, Ventilschläge und andere Einflüsse einer Maschine schon Signale im Voltbereich erzeugen können.

- 5 In den Fig. 5 bis 7 ist ein Verfahren dargestellt, welches solche Störeinflüsse in der Auswertung eliminiert. Die Ordinate zeigt jeweils das Sensorsignal V , und die Abszisse ist die Zeitachse t .

10 Vorerst wird die Maschine in einem Lernmodus einmal in einem vollen Zyklus gefahren und die Werte aufgezeichnet. Dies ergibt eine Kurve gemäss Fig. 5. Diese Kurve wird nun als Idealkurve 42 angenommen und abgespeichert. Jeder weitere Produktionszyklus wird im folgenden überwacht und in Echtzeit mit der Idealkurve 42 verglichen. In der Kurve 44 gemäss Fig. 6 tritt eine Störung auf, welche durch eine Signalspitze 46 aufgezeigt wird.

15 Nach Fig. 7 wird in Echtzeit die Idealkurve 42 (Fig. 2) von der Störungskurve 44 (Fig. 6) subtrahiert und unmittelbar anschliessend mit Alarmschwellen 48 verglichen, die resultierende Kurve 51 der Störung entsprechende Signalspitze 46 (Fig. 6) kann als Alarmschwellwert 50 detektiert werden.

20 Ein Ladungsverstärker 52 für Sensorsignale ist nach dem Schema gemäss Fig. 8 ausgeführt. Dabei ist zu einem kleinen Bereichskondensator 54 ein grosser Bereichskondensator 56 mittels eines elektronischen Schalters 58 zugeschaltet. Er kann als FET, Halbleiterrelais oder Optokoppler ausgeführt sein. Um die
25 Drift auch im kleinen Bereich möglichst klein zu halten, wird als Operationsverstärker 60 eine möglichst hochohmige Version mit geringsten Eingangsströmen eingesetzt. Der Operationsverstärker 60 bewirkt in einem Rückkopplungsweig 62 einen umgekehrt proportionalen Strom.

30 Damit kann auch mit den hochauflösenden erfindungsgemässen Dehnungssensoren unter industriellen Produktionsbedingungen überwacht werden, da

regelmässig – Zyklus für Zyklus – auftretende Ventilschläge, Beschleunigungskomponenten und andere mechanische Einflüsse eliminiert werden.

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Dehnungssensor (10) zum Messen positiver und negativer Dehnungen auf Oberflächen (16) von steifen Strukturen (16) mittels elektrischer Signale, welcher Dehnungssensor (10) kraftschlüssig auf diese Oberflächen (16) pressbar oder unlösbar auf ihnen befestigbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass

ein in allen Dehnungsrichtungen hochempfindlicher Dehnungssensor (10) aus piezokeramischem Material (14) besteht, welches als dünne Schicht wenigstens einseitig auf ein biegbares Metallblech (12) aufgebracht oder als Formkörper unlösbar auf diesem befestigt ist.
2. Dehnungssensor (10) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das piezokeramische Material (14) scheibenförmig ausgebildet ist, vorzugsweise mit einer Dicke (d_2) von 0,05 bis 0,25 mm, und coaxial auf einer am Umfang überstehenden Metallscheibe (12), vorzugsweise einer Dicke (d_1) von 0,05 bis 0,25 mm, angeordnet ist.
3. Dehnungssensor (10) nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Durchmesser (D_2) des piezokeramischen Materials (14) im Bereich von 5 bis 30 mm, der Durchmesser (D_1) der Metallscheibe (12) im Bereich von 10 bis 60 mm liegt.
4. Dehnungssensor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das piezokeramische Material (14) als Schallgeber-Membrane mit charakteristischer Resonanzfrequenz ausgebildet ist und vorzugsweise aus einem oxidischen Werkstoff auf der Basis von Bleioxid, Zirkonoxid und Titanoxid, insbesondere Blei-Zirkonat-Titanat, besteht.

5. Dehnungssensor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das piezokeramische Material (14) als vorgeformte Scheibe mit dem Metallblech (12) verklebt oder auf dieses gelötet ist, und das piezokeramische Material (14) durch chemisches Abscheiden aus der Gasphase (CVD), elektrochemische Abscheidung oder Aufdampfen auf dem Metallblech (12) aufgebracht ist.
6. Dehnungsaufnehmer (22) mit wenigstens einem Dehnungssensor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass diese auf der freien Stirnseite von wenigstens einem überstehend in einem für sich stabilen Aufnehmergehäuse (30) eingelassenen, elastischen Druckkörper (28) angeordnet sind, und Mittel (24,40) zum Anpressen des Aufnehmergehäuses (30) an die zu messende Oberfläche (16) umfasst.
7. Dehnungsaufnehmer (22) nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufnehmergehäuse (30) von einem Schraubenloch durchgriffen ist oder wenigstens zwei regelmässig über den Umfang verteilte, mit der Öffnung flächenbündige Flansche (31) mit mindestens je einem Schraubenloch oder -schlitz aufweist.
8. Dehnungsaufnehmer (22) nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Aufnehmergehäuse (30) eine Auswerteelektronik (38) angeordnet ist.
9. Dehnungsaufnehmer (22) nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass elektrisch leitende Kabel oder Federn (18,20) durch axiale Bohrungen (34,36) im elastischen Druckkörper (38) und im Aufnehmergehäuse (30) von den Dehnungssensoren (10) zur Auswerteelektronik (38) geführt sind.
10. Dehnungsaufnehmer (22) nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch

gekennzeichnet, dass die Dehnungssensoren (10) mit einer elektrisch leitfähigen metallischen oder metallisierten Folie (32) abgedeckt sind.

11. Verfahren zum elektrischen Messen von positiven und negativen Dehnungen auf Oberflächen (16) von steifen Strukturen (26), mit einem Dehnungssensor (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5 oder mit einem Dehnungsaufnehmer (22) nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die piezokeramisch abgegebenen Ladungen in Ladungsverstärkern (52) zu von Steuerungen verwendbaren Ausgangssignalen verstärkt werden, welche eine dazu proportionale Spannung haben, wobei der Ladungsverstärker (52) falls erforderlich sehr schnell von kleinen auf sehr grosse Ladungsbereiche umschaltet.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Beseitigung von mechanischen Störungen bei hochauflösenden Messungen einleitend eine Idealkurve (42) aufgezeichnet und abgespeichert wird, jeder weitere Zyklus überwacht und in Echtzeit mit der Idealkurve (42) verglichen wird, beim Auftreten einer Störung in Echtzeit die Idealkurve (42) von der Störungskurve (44) abgezogen, die Differenz unmittelbar mit einer Alarmschwelle (48) verglichen und die Störung als Alarmschwellwert (50) detektiert wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass richtungsunabhängig alle auf der Oberfläche (16) auftretenden Dehnungen detektiert werden.
14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Dehnungen mit einem auf die zu messende Oberfläche (16) geklebten oder gelöteten Metallblech (12) des Dehnungssensors (10) detektiert werden.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ladungsverstärker (52) im Mikrosekundenbereich von Dehnungsmessungen mit einer Auflösung im Nanometerbereich auf die Messung von bis etwa 1000-fach, insbesondere bis etwa 500-fach grösseren Dehnungen umschaltet, oder umgekehrt.

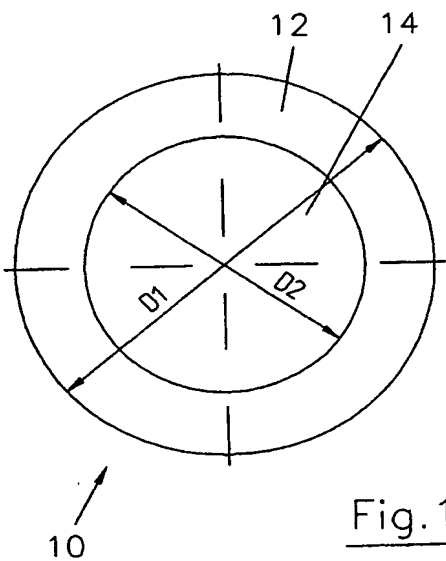


Fig. 1

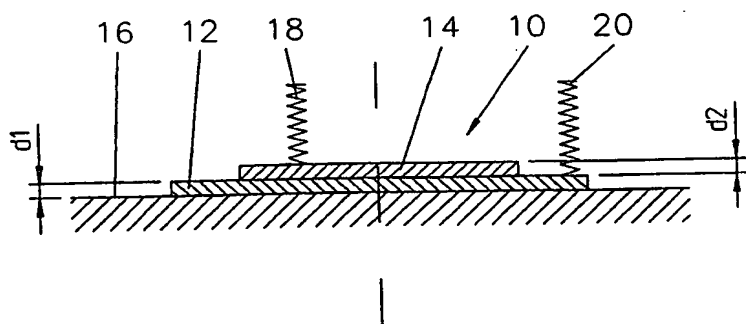


Fig. 2

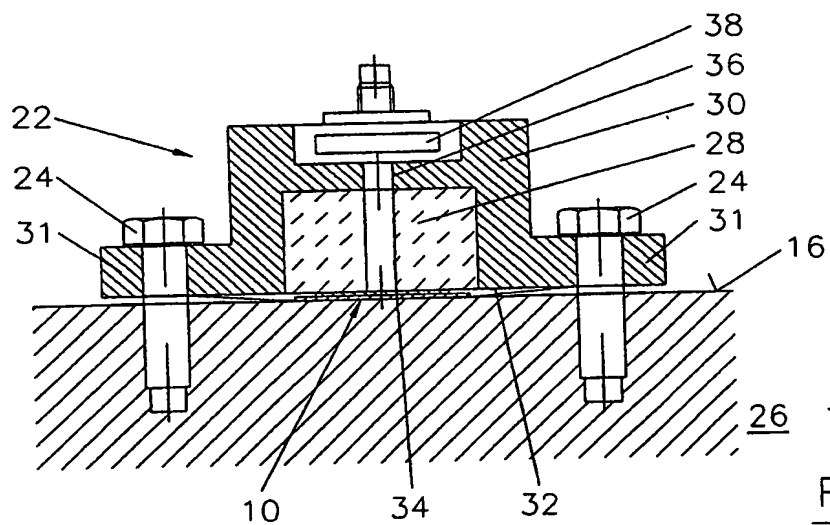


Fig. 3

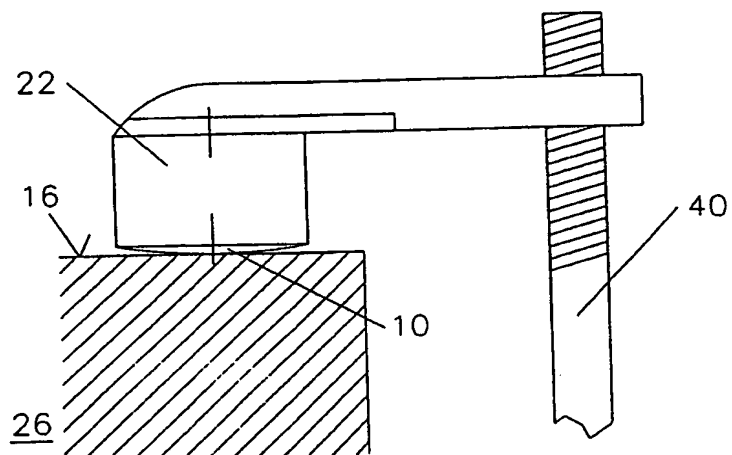
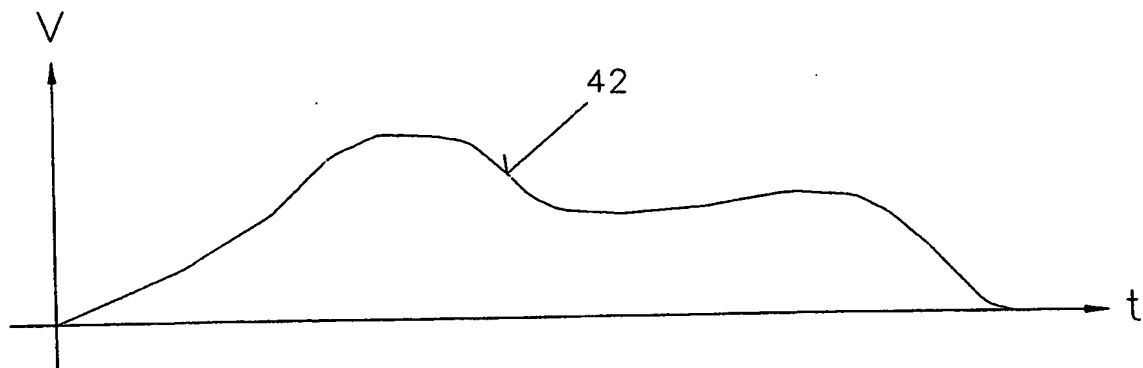
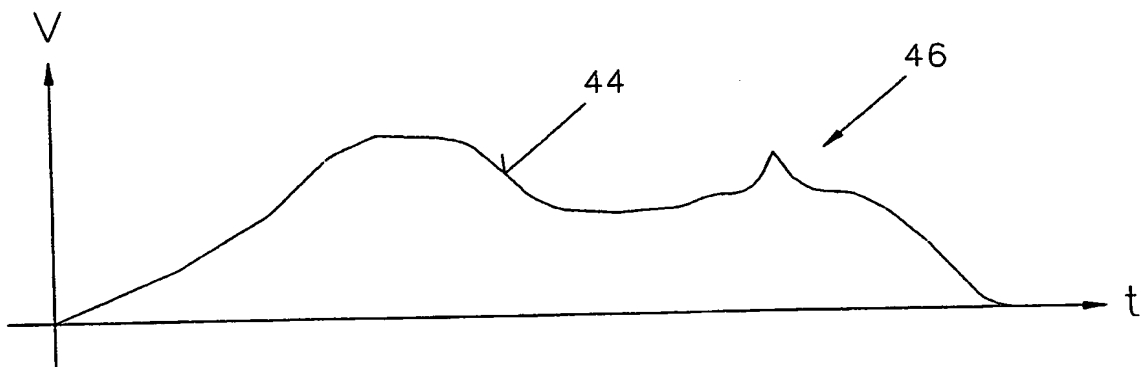
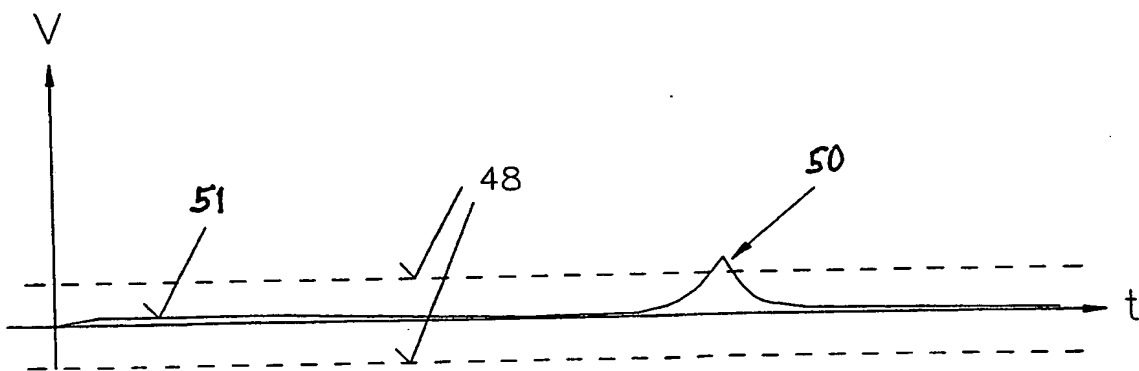
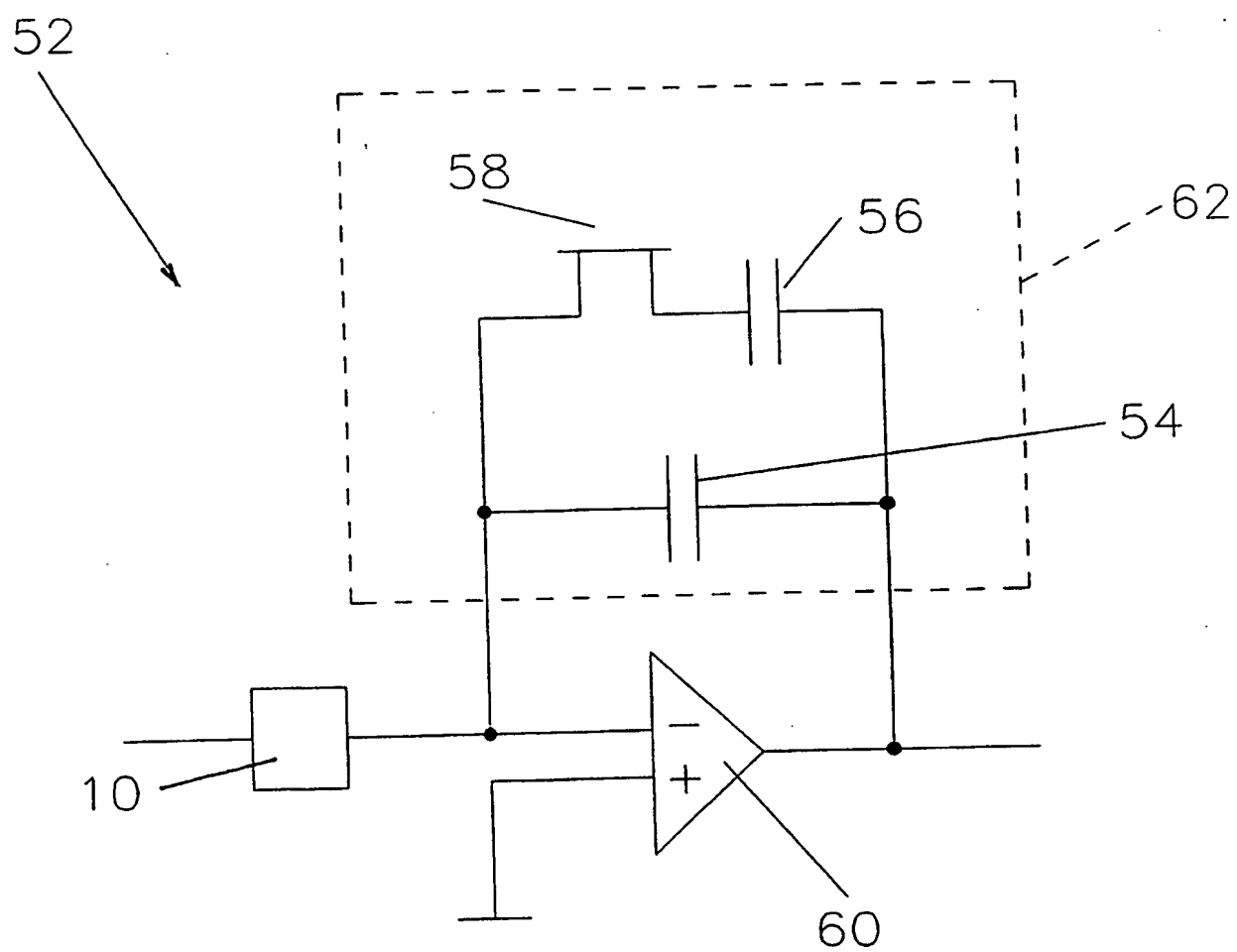


Fig. 4

Fig.5Fig.6Fig.7

Fig.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/CH 98/00496

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01L1/16 G01M13/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01L G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 0 459 069 A (KISTLER INSTRUMENTE AG) 4 December 1991 see abstract; figures 1-5 see column 2, line 2 - column 2, line 21 see column 2, line 53 - column 3, line 39 see column 4, line 28 - column 4, line 32 ---	1, 11 2-10, 12-15
Y A	EP 0 363 785 A (POLYSENS SPA) 18 April 1990 see abstract; figures 1-8 see column 4, line 10 - column 8, line 1 --- -/--	1, 11 2-10, 12-15

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 February 1999

Date of mailing of the international search report

16/02/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Helm, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/CH 98/00496

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2 558 563 A (JANSSEN, W. H.) 26 June 1951	1,11
A	see column 1, line 1 - column 1, line 9 see column 2, line 40 - column 3, line 35 see figure 1 -----	2-10, 12-15
A	EP 0 012 867 A (KISTLER INSTRUMENTE AG) 9 July 1980 see abstract; figures 3,5 -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/CH 98/00496

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0459069 A	04-12-1991	CH 680752 A AT 117796 T DE 59008371 D JP 4231829 A US 5329823 A	30-10-1992 15-02-1995 09-03-1995 20-08-1992 19-07-1994
EP 0363785 A	18-04-1990	DD 297873 A JP 2179430 A	23-01-1992 12-07-1990
US 2558563 A	26-06-1951	NONE	
EP 0012867 A	09-07-1980	DE 2855746 A AT 891 T US 4314481 A	26-06-1980 15-05-1982 09-02-1982

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00496

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 G01L1/16 G01M13/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01L G01M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie ^a	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	EP 0 459 069 A (KISTLER INSTRUMENTE AG) 4. Dezember 1991 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1-5 siehe Spalte 2, Zeile 2 - Spalte 2, Zeile 21 siehe Spalte 2, Zeile 53 - Spalte 3, Zeile 39 siehe Spalte 4, Zeile 28 - Spalte 4, Zeile 32 ---	1, 11 2-10, 12-15
Y A	EP 0 363 785 A (POLYSENS SPA) 18. April 1990 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1-8 siehe Spalte 4, Zeile 10 - Spalte 8, Zeile 1 ---	1, 11 2-10, 12-15
	-/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"g" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Februar 1999

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

16/02/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Helm, B

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00496

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 2 558 563 A (JANSSEN, W. H.) 26. Juni 1951	1, 11
A	siehe Spalte 1, Zeile 1 - Spalte 1, Zeile 9 siehe Spalte 2, Zeile 40 - Spalte 3, Zeile 35 siehe Abbildung 1	2-10, 12-15
A	EP 0 012 867 A (KISTLER INSTRUMENTE AG) 9. Juli 1980 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 3, 5	1-15

INTERNATIONALER RESEARCHBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/CH 98/00496

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0459069 A	04-12-1991	CH 680752 A AT 117796 T DE 59008371 D JP 4231829 A US 5329823 A	30-10-1992 15-02-1995 09-03-1995 20-08-1992 19-07-1994
EP 0363785 A	18-04-1990	DD 297873 A JP 2179430 A	23-01-1992 12-07-1990
US 2558563 A	26-06-1951	KEINE	
EP 0012867 A	09-07-1980	DE 2855746 A AT 891 T US 4314481 A	26-06-1980 15-05-1982 09-02-1982